

带钢热连轧机卷取机控制技术

侯 宏¹, 左秀丽², 李文峰³

(1. 凌源钢铁集团公司中宽带厂电气工程师, 辽宁 凌源 122504; 2. 一重集团大连设计研究院高级工程师, 辽宁 大连 116600; 3. 凌源钢铁集团公司技改部电气工程师, 辽宁 凌源 122504)

摘要: 介绍中宽带及窄带热钢连轧机卷取区电气传动及自动化控制技术。阐述通钢热连轧机卷取机电控系统设计, 阐述设备工艺、传动及自动化系统配置及主要控制功能, 如层流冷却 CTC 控制、卷取带钢速度控制、夹送辊控制, 着重介绍卷取机的张力控制功能。

关键词: 热连轧机; 卷取机; 层流冷却; 速度控制; 张力控制

中图分类号: TG333.7+1; TG333.2+4 **文献标识码:** B **文章编号:** 1673-3355 (2006) 03-0021-04

Control Technology to Coiler in Hot Strip Continuous Rolling Mill Line

Hou Hong, Zuo Xiuli, Li Wenfeng

Abstract: The article introduces the electrical and automation control used in the coiler of strip hot continuous rolling mills and the electrical control design and configuration of the drive, automation and process control of the coiler, such as CTC control of laminar cooling device, strip speed control and pinch roll control. The article focuses on the tension control in coilers.

Key words: hot continuous rolling mill; coiler; laminar cooling; speed control; tension control

近几年我国中小型钢铁企业建设了多条中宽带及窄带钢热连轧机生产线, 取得了较大的经济效益, 设计、制造均已实现全部国产化。其中通化钢铁集团有限责任公司 550 mm 热连轧优质带钢生产线是一重大连设计研究院首次承担的带钢热连轧机电气传动及自动化控制系统设计, 当年设计当年投产, 堪称国内成套轧机建设的奇迹。该设计中采用了许多新产品、新技术, 机组的自动化水平很高。

1 工艺设备简介

卷取区设备有: 输出辊道、层流冷却装置、机前导尺、1# 和 2# 夹送辊、1# 和 2# 卷取机、1# 和 2# 卸卷小车、机上辊道、机上导尺、1# 和 2# 运卷小车、快速链、搬运机、慢速链、托卷机, 收集台架等。

主要设备是两台气动四助卷辊式地下卷取

机, 采用恒张力卷取成品带钢。

2 电气传动系统配置

2.1 直流调速

卷取区直流传动设备采用国产 Z 系列和 ZZJ800 系列直流电动机拖动, 选用德国西门子公司 6RA70 系列全数字式直流调速装置供电。直流调速装置进线侧采用公共整流变压器及进线电抗器。

卷取机的调速装置内配有 T400 工艺板及卷取控制软件, 它是 SIMADYND 系统新一代工艺类型产品, 32 位 CPU 板具有极高的运算能力和强大功能。实现卷取机的张力控制、卷径计算、动态及空载补偿、摩擦力矩补偿、弯曲力矩补偿等功能。

2.2 交流调速

辅助的交流调速设备如输出辊道、机上辊

道、导向辊传动、助卷辊缝调整、夹送辊辊缝调整采用国产 YSG 或 YTSP 系列交流变频异步电动机拖动, 选用德国西门子公司 6SE70 系列全数字式交流变频调速装置, 采取公共整流变压器、公共交流母线、变频器入口侧加进线电抗器的形式供电。

交直流调速装置通过通讯板 CBP2 作为从站上挂到卷取区自动化控制系统的分布式现场总线 PROFIBUS-DP 网上。通过 PROFIBUS-DP 协议与自动化控制系统进行过程控制数据及控制命令的交换。

3 自动化控制系统组成及功能

卷取区自动化控制系统设有 S7-400 PLC 一套、S7-300 PLC 一套、操作员站 HMI 一套。

卷取区自动化系统采用分布式结构, PLC 与远程 I/O 站 ET200M 及传动装置通过过程现场总线 PROFIBUS-DP 通讯。CP443-1 通讯模块将 PLC 联接到工业以太网 (Industrial Ethernet), 与全线的 S7-400PLC 及 HMI 通讯。

S7-400 PLC 主要完成卷取区与带卷运输区设备自动及手动逻辑控制、速度及张力给定控制、层流冷却控制、机前机上导尺的开口度 APC 控制、夹送辊及助卷辊辊缝 APC 控制、卸卷自动手动控制、快速及慢速运输链 APC 控制、PROFIBUS-DP 及工业以太网数据通讯控制等。

S7-300 PLC 主要完成卷取区传动液压站控制、PROFIBUS-DP 与主站 S7-400 的数据通讯控制等。

操作员站 HMI 设置在卷取区操作台上, 主要包括卷取区主画面、卷取区轧制程序表画面、卷取区设定画面、趋势图画面、卸卷状态画面、运输链画面、液压、润滑站画面、故障报警一览表等动态显示及设定画面。

4 主要自动化功能

4.1 层流冷却控制

层流冷却装置分布在输出辊道上。卷取温度控制 CTC 程序是根据精轧出口的速度, 带钢厚度和精轧终轧温度以及卷取温度对热输出辊道的上下层流冷却装置的开启进行设定和控制, 以保证带钢进入卷取机前的实际温度在所要求的卷取温度精度范围内, 从而提高带钢机械性能。采用预设阀门开启段数与温度反馈结合的算法:

$$N=N_1+\alpha_1(v-v_s)+\alpha_2(T_3-T_{s1})+\alpha_3(T_4-T_{s2})$$

式中, N —控制冷却水段数; N_1 —HMI 中对给定带钢厚度的预设喷水段数; α_1 —带钢速度影响系数; v —带钢速度; v_s —对给定厚度的轧制基准速度; α_2 —终轧温度变化的影响系数; T_3 —实测终轧温度值; T_{s1} —终轧温度目标值; α_3 —卷取温度变化的影响系数; T_4 —实测卷取温度值; T_{s2} —卷取目标温度值。

CTC 还可以有前端冷却、后端冷却、头尾不冷却三种方案, 分别应用于规格不同产品的生产, 可以在 HMI 上选择设定。

4.2 机组速度控制

当带钢头部高速离开精轧机末架而未进入卷取机时, 输出辊道、夹送辊、卷取机、助卷辊速度必须比末架轧机的速度快一定比率, 以防止带材在辊道上起皱, 这称之为速度超前率。超前率过低, 影响带钢顺利咬入卷取机, 过高则可能出现带钢的“缩颈”效应, 即带头咬入时拉窄带钢。

同样当精轧机末架抛钢时, 输出辊道速度必须滞后于记忆的末架轧机速度一定比率, 从而对带钢产生向后的拉力防止带材因失张而起皱, 这称之为输出辊道的滞后率。此时, 卷取机、夹送辊还和带钢速度同步。带钢张力原来在机架和卷取机间建立现转为在卷取机和夹送辊之间建立。由于输出辊道是分段调速的, 所以当带尾离开某一段辊道时, 该段就降为等待速度或恢复为下一块钢的超前速度以准备传送下一块钢。带尾跟踪到带钢尾部到达减速点时进行减速, 减速点由 PLC 计算, 使带钢尾部到达夹送辊时速度降为目标速度, 同时卷取机降至爬行速度运转, 直至带尾到卷筒正下方或要求的定位角度停止。

4.3 夹送辊控制方式

当带头进入夹送辊时, 夹送辊为速度调节方式, 速度设定值为末架精轧机速度加上超前率。当卷取机与末架轧机建立张力后, 夹送辊自动转为零电流控制方式, 这时它的速度应与带钢速度同步, 只起传送作用。当带钢尾部到 F4 机架时, 卷取机张力给定值减小。末架轧机抛钢后, 带钢在夹送辊与卷取机之间继续形成张力卷取, 夹送辊恢复为速度控制系统, 卷取机为张力控制系统, 夹送辊会通过钢板被卷筒拉入同步, 而进入发电状态。带尾离开夹送辊后, 夹送辊降为等待速度运行或以下一带钢的超前速度运行。

4.4 卷取张力控制

卷取机控制中最重要的一环就是张力控制, 张力控制的效果直接关系到成品质量。张力控制

的目的在于保证正常卷取时, 1 号或 2 号卷取机上的带钢张力恒定在设定值, 从而保证带卷卷得紧而齐, 卷形良好, 减小塔形。

张力控制由 T400 工艺板及相应的卷取软件包实现。T400 可实现间接闭环张力控制与直接张力闭环调节。可进行卷径计算、转动惯量动态补偿、摩擦补偿、断带与超速保护。

电动机的转矩及张力公式为:

$$M_D = K_m \Phi I_a = \frac{TD}{2i} + M_B + M_j + M_0$$

$$T = 2K_m i \frac{\Phi I_a}{D}$$

式中, M_B —弯曲力矩 ($\text{kg} \cdot \text{m}$); M_j —动态力矩 ($\text{kg} \cdot \text{m}$); M_0 —空载转矩 ($\text{kg} \cdot \text{m}$); T —张力 (kgf); Φ —电机磁通 (MX); D —卷径 (m); i —减速比。

这台卷取机张力控制采用最大力矩控制方式, 其基本控制过程为:

卷取机在基速下工作, 电动机处于满磁状态, $\Phi = \Phi_{\max} = \text{Const}$ 。此时只要保证 $\frac{I}{D}$ 恒定, 即按卷径 D 的变化成比例地调节电枢电流, 就可实现恒张力控制, 且合理利用了电动机的功率。

在基速以上轧制时, 由励磁调节器控制电机电势 E 为恒定值, 即令 $E = Ce\Phi n = \text{Const}$, 也就是要求 Φ 与 n 成反比。由于 $n = \frac{60v}{\pi D}$ (式中 v , n 分别为带材线速度和电机转速), 有:

$$E = \frac{Ce60i}{\pi} v \frac{\Phi}{D}$$

在稳速轧制时线速度 v 为恒量。既然 E 、 v 都为恒量, 则由上式, 显然 $\frac{\Phi}{D}$ 亦为恒定值。因此根据张力公式 $T = 2iC_M I \frac{\Phi}{D}$, 只要再调节电流 I 为恒定就实现了带材张力恒定。

在不能直接检测张力的情况下, 为了准确控制卷取张力, 必须准确控制卷取机电机的转矩。由速度控制转为张力控制时卷取机速度给定附加一个饱和设定值, 使其大于实际带钢速度, 此时速度调节器的输出饱和。张力给定值乘以卷径再加上动态补偿及空载补偿及摩擦力矩补偿弯曲力矩补偿即转矩给定, 作为卷取机的转矩/电流限幅。由于速度调节器的输出达到饱和限幅值, 控制转矩限幅就可控制电机的转矩, 保证张力恒定。调节系统如图 1。

转矩计算。电机的总转矩中包含有各种其他

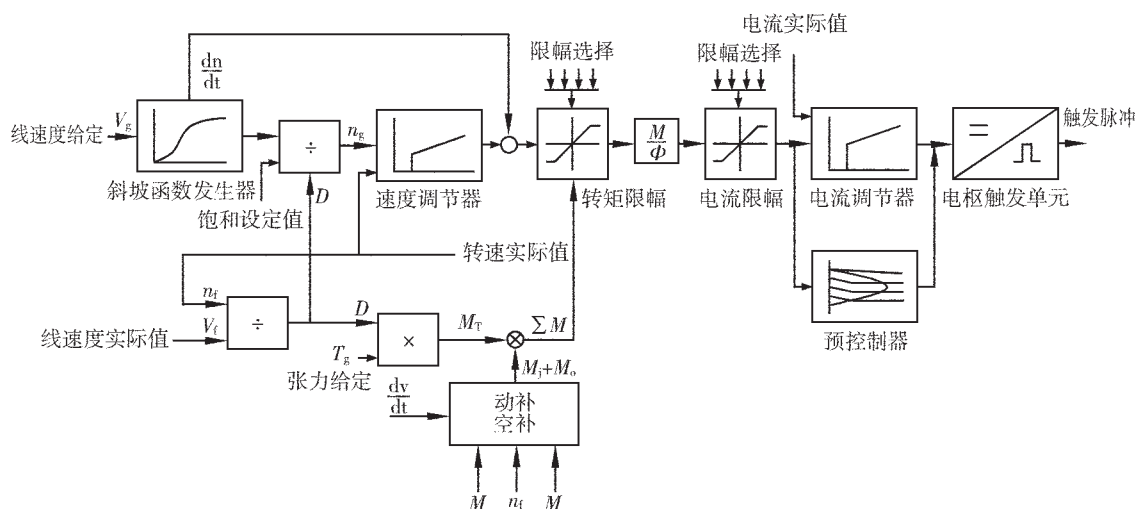


图 1

成分。因此必须对这些成分进行补偿, 以达到通过对总转矩的控制进而实现张力控制的目的。在加减速过程中算出动态电流, 进行相应的动态空载转矩补偿, 就保证了加减速过程中带材张力的恒定。

卷取电机的总转矩由张力转矩、弯曲力矩补偿、动态惯性转矩补偿、机械摩擦损耗补偿等组成。因此卷筒电机折算到卷筒上的总转矩为

$$M = M_T + M_B + M_j + M_0$$

卷径计算。卷径计算是实现卷取张力控制、自动带尾停止控制等必须的。采用速度比的方式计算卷径的基本公式为: $D = \frac{v_L}{\pi n}$

式中, v_L —带材线速度 (m/min); n —卷筒转速 (r/min); D —卷径 (m)。

这种方法的优点是: 没有累计误差且不必考

SPWM 综合谐波抑制的一种方法

刘 伟¹, 李向安²

(1. 凌源钢铁集团公司自动化部电气工程师, 辽宁 凌源 122504; 2. 一重集团大连设计研究院高级工程师, 辽宁 大连 116600)

摘要: 在 PWM 变频控制理论的基础上, 对广泛应用的调制方法输出的波形进行谐波分析, 讨论谐波产生的各种因素, 说明应采取的一种有效的抑制方法来实现减少谐波对电机的危害。

关键词: 谐波分析; 抑制谐波; 变频器; 脉宽调制; 调速范围

中图分类号: TN773 **文献标识码:** B **文章编号:** 1673-3355 (2006) 03-0024-02

SPWM—An Effective Way to Suppress Harmonics

Liu Wei, Li Xiangan

Abstract: The article makes harmonic analysis to the waves outputted by normal modulation devices, discusses the factors that cause to produce harmonics and gives an effective suppression way to reduce the harm of harmonics to motors.

Key words: harmonic analysis; harmonic suppression; frequency converter; pulse-width modulation; speed-adjusting range

随着 PWM (Pulse-Width Modulation) 技术在变频控制领域的广泛应用, 变频器成为交流电动机调速的重要装置, 不但调制范围宽, 而且具有明显的节能效果。但在逆变过程中产生的谐波会使电动机的损耗增大, 效率降低, 功率因数降低, 并产生电磁噪音, 而最大的影响则是谐波导致转矩的脉动, 最终造成转速的脉动。较有效的抑制谐波的调制方法通常采用 SPWM 法和特定消谐波法。但也难以避免输出的高频谐波引起电机的绕组失效和轴承损坏。下面就 SPWM 法进行谐波分析, 根据谐波在频谱上的分布情况, 提出减少谐波对电机危害的方法。

1 SPWM 法的谐波分析

对于 PWM 型变频控制, 一般从电机拖动转矩方面考虑, 采用 U/F 控制方式, 在改变频率的同时控制变频器的输出电压, 以保证恒磁通来实现恒转矩。所以 PWM 控制原理是通过改变调制深度和换向频率实现 U/F 控制。

正弦波脉宽调制 SPWM 法是利用三角波与正弦波的交点作为变频电源的开关控制信号, 其原理图如图 1。

正弦控制波: $U = M \times \sin(2\pi ft)$

考虑带卷的卷紧程度。但带材与夹送辊之间可能的打滑是影响速度比方式精度的主要因素。

5 结 语

热连轧卷取机的自动化水平要求很高, 对软

件程序设计要求也务必严谨。必须满足即使在检测元件有误的情况下也能卷完当前钢坯。该项目投产运行至今表明: 其控制系统设计合理, 功能完善, 运行可靠, 完全满足用户的要求。